



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil



Samuel Márcio Gomes Felipe

ANÁLISE DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS DO BRASIL

Ouro Preto

2023

Análise de fontes de energia renováveis do Brasil

Samuel Márcio Gomes Felipe

Trabalho Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenharia Civil na Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação:

Área de concentração: Energia

Orientadora: Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro

Ouro Preto

2023



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CONTROLE E
AUTOMACAO



FOLHA DE APROVAÇÃO

Samuel Márcio Gomes Felipe

Análise de Fontes de Energia Renováveis no Brasil

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Aprovado em 31 de agosto de 2023.

Integrantes da banca

[Doutor] - Paulo Marcos de Barros Monteiro - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)

[Doutor] - Luiz Fernando Rispoli Alves - (Universidade Federal de Ouro Preto)

[Eng] - Fernando Antônio Borges Campos - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Paulo Marcos de Barros Monteiro, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 23/01/2025.



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Marcos de Barros Monteiro, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/01/2025, às 17:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0845284** e o código CRC **07B38AE5**.

“O começo de todas as ciências é o espanto de as coisas serem o que são”
Aristóteles.

AGRADECIMENTOS

Primeiro, agradeço acima de tudo a Deus, pela vida, sabedoria e as oportunidades recebidas durante esta jornada.

As mulheres da minha vida, todo o agradecimento possível, mãe Márcia e irmã Marcela, a todo o apoio dado para finalizar este ciclo nos diversos âmbitos da vida. Ao meu pai Raimundo (*in memoriam*), e irmão Lucas. A Nadir por todos estes anos, ter cuidado de mim com todo o carinho. Ao Peret, pelo apoio e sabedoria, sempre disposto para conversas e dar conselhos.

A República Serigy, pela família que ganhei e que sempre me acolheu e fez companhia durante toda a faculdade.

Agradeço o apoio e orientação dada pelo professor Paulo, e a ajuda dos professores Fernando e Rispoli.

E por fim, agradeço todos os amigos feitos durante todo o percurso, estudando na Escola de Minas da UFOP, e morando em república.

“Daquela canção que diz. Parapapapa. Bendito. Encontro. Na vida. Amigo. É tão forte quanto o vento quando sopra. Tronco forte que não quebra, não entorta. Podes crer, podes crer.

Eu tô falando de amizade!” (Cidade Negra)

RESUMO

É fundamental, na história humana, o desempenho energético, que impulsiona o progresso e a qualidade de vida. A partir de crises energéticas e preocupações ambientais, a necessidade de sustentabilidade nas tecnologias de geração elétrica, encontra-se em destaque nas discussões mundiais, sobretudo a importância de fontes renováveis. Compreender essas fontes e promover práticas sustentáveis é crucial para enfrentar desafios energéticos atuais e preservar o meio ambiente, assim como buscar mitigar as consequências ambientais das mudanças climáticas. Assim, é realizado neste trabalho uma revisão bibliográfica, para explicar e abordar o tema, evidenciando o quanto a energia renovável é forte, e que existem várias fontes da mesma, relatando seus potenciais e características, através de autores.

Palavras-chave: Energia Renovável, Tecnologias, Matriz Energética, Fonte Energética.

ABSTRACT

Energy performance, which drives progress and quality of life, is fundamental to human history. As a result of energy crises and environmental concerns, the need for sustainability in electricity generation technologies has been highlighted in global discussions, especially the importance of renewable sources. Understanding these sources and promoting sustainable practices is crucial to facing current energy challenges and preserving the environment, as well as seeking to mitigate the environmental consequences of climate change. In this paper, a literature review is carried out to explain and address the topic, highlighting how strong renewable energy is, and that there are various sources of it, reporting on their potential and characteristics, through authors.

Keywords: Renewable Energy, Technologies, Energy Matrix, Energy Source

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Participação de renováveis na matriz elétrica brasileira. Fonte: Relatório Síntese BEN, 2023	13
Figura 2: Oferta Interna de Energia Renovável em 2022. Fonte: Relatório Síntese BEN, 2023.	14
Figura 3: Evolução da Geração por Fonte. Fonte: CCEE, 2022.	15
Figura 4: Perfil esquemático de uma hidrelétrica. Fonte: Aneel, 2008.	16
Figura 5: Capacidade Instalada de Energia em MegaWatts (MW) por fonte, no período de dezembro de 2012 à maio de 2023. Fonte: CCEE, 2023.....	18
Figura 6: Quantidade de usinas e Capacidade Instalada (MW) por estado. Fonte: CCEE, 2023.	18
Figura 7: Ranking de países que mais geraram energia hidrelétrica em 2021. Fonte: IRENA.	19
Figura 8: Capacidade de Energia Instalada. Fonte: CCEE, 2023.....	19
Figura 9: Usinas com maior capacidade instalada. Fonte: CCEE, 2023	20
Figura 10: Concentração de usinas hidrelétricas por região. Fonte: CCEE, 2023.	20
Figura 11: Perfil esquemático de um aerogerador. Fonte: REIS, 2017.	27
Figura 12: Componentes de um aerogerador residencial. Fonte: Energia Renovável.....	28
Figura 13: Quantidade de usinas Eólicas e Capacidade instalada (MW) por estados.	29
Figura 14: Geração de energia eólica (TWh) por região. Fonte: Boletim de Geração Eólica, 2022.	29
Figura 15: Célula de silício monocristalino e célula de silício multicristalino Fonte: CRESESB.....	34
Figura 16: Esquema de sistema de aproveitamento de energia solar. Fonte: Kemerich et al, 2016.	34
Figura 17: Efeito fotovoltaico na junção PN. Fonte: CRESESB.	35
Figura 18: Corte transversal de uma célula fotovoltaica. Fonte: CRESESB.....	36
Figura 19: Capacidade de energia solar fotovoltaica por estado. Fonte: CCEE, 2023.....	36

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Produção de Energia Hidráulica (GWh) entre 1970 e 2022. Fonte: Elaborado pelo autor.	22
Gráfico 2: Geração Total de Energia Eólica (GWh) de 1970 à 2022. Fonte: Elaborado pelo autor.	30
Gráfico 3: Geração de Energia Solar Fotovoltaica entre 1970 e 2022. Fonte: Elaborado pelo autor.	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. Objetivos	9
1.2. Metodologia	10
2. ENERGIA RENOVÁVEL	11
2.1. Contexto energético do Brasil	11
3. AS FONTES RENOVÁVEIS DO BRASIL	16
3.1. Hidrelétricas	16
3.2. Biomassa	22
3.3. Geotérmica	24
3.4. Oceânica	25
3.5. Energia eólica	26
3.6. Energia solar com foco em fotovoltaica	33
4. CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1. INTRODUÇÃO

A energia foi um grande aliado ao longo da história da humanidade, para a sua evolução, manutenção e melhoria de qualidade de vida. Logo, a importância do estudo e desenvolvimento de tecnologias referentes a geração de energia elétrica é fundamental. “Infraestrutura básica da sociedade moderna, a energia elétrica é um insumo fundamental para o desenvolvimento de qualquer comunidade, grupo ou país” (Lemos, 2016, p.15).

A busca por meios naturais de obtenção de energia elétrica, está especialmente ligada às crises do petróleo e às discussões mundiais a respeito da conservação do meio ambiente. Ou seja, a procura por tecnologias capazes de gerar energia de maneira sustentável e renovável, o que demanda a necessidade de utilização de recursos que se renovam na natureza e possuem baixos índices de poluição do meio, como emissão de gases do efeito estufa. Neste sentido, tem-se várias fontes capazes de atender os critérios, dentre elas, as fontes: hídrica, oceânica, biomassa, geotérmica, eólica e solar.

Desta maneira, para realizar a evolução nas práticas sustentáveis de produção e gestão energética, é imprescindível estudar e compreender, primeiro como funciona os sistemas de geração de energia elétrica, e segundo de onde estes sistemas extraem o recurso e a melhor maneira de prover a logística e custo, para que possa haver a disseminação harmoniosa e otimizada das fontes de energia renováveis no país.

Isto é relevante, principalmente na era em que a humanidade vive, no qual a demanda de energia requerida está evoluída de uma forma que é necessária para a sobrevivência. Com isso, essa elevada dependência do ser humano civilizado e a crescente degradação ambiental que agrava a diminuição de recursos não renováveis, gera a necessidade de discussão e desenvolvimento de meios sustentáveis de geração elétrica (Santos, Rodrigues e Carniello, 2021).

1.1. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma pesquisa bibliográfica a respeito de energia renováveis no Brasil, e suas diferentes fontes, como: hídrica, biomassa, geotérmica, oceânica, eólica e solar fotovoltaica. Para isso, se desenvolveu três objetivos específicos, sendo eles:

- Constatar a importância da energia renovável;

- Contextualizar e apresentar exemplos de energia renováveis;
- Apresentar dados a respeito da participação e geração de energia renovável;

1.2. Metodologia

Para a realização deste trabalho, foi feita uma pesquisa bibliográfica na busca por materiais com o tema a respeito de energia renováveis, energia hidráulica, energia eólica, energia oceânica, energia geotérmica, energia da biomassa e energia solar fotovoltaica. A escolha dessa metodologia se deu pois, de acordo com Antônio Carlos Gil (1996):

A pesquisa bibliográfica é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos. Embora em quase todos os estudos seja exigido algum tipo de trabalho desta natureza, há pesquisas desenvolvidas exclusivamente a partir de fontes bibliográficas (GIL, 1996, p.48).

De tal modo, ao utilizar da pesquisa bibliográfica, o trabalho adquire a vantagem de permitir que haja uma cobertura maior dos fenômenos que serão observados durante a construção do trabalho. E assim, se torna mais palpável a absorção e manipulação de dados que, de outro modo, ficariam dispersados e não seriam melhores trabalhados. De acordo com Gil (1996), caso o pesquisador tenha “à sua disposição uma bibliografia adequada, não terá maiores obstáculos para contar com as informações requeridas” (Gil, 1996, p.49).

Em paralelo a revisão bibliográfica, foi realizada a pesquisa documental, que tem similaridades a pesquisa bibliográfica, porém o que difere uma da outra é a natureza das fontes utilizadas, já que, no que discute Gil (1996), a pesquisa documental se baseia em documentos, como os “documentos de segunda mão”: relatórios de pesquisa, relatórios de empresas, tabelas estatísticas, etc. Todos os artigos, livros, relatórios e fontes de dados utilizados para a realização deste trabalho, teve-se como intuito uma abordagem de contextualizar e desenvolver o conhecimento sobre energia renováveis, apresentando seu status, desafios e potencial no Brasil.

2. ENERGIA RENOVÁVEL

A energia renovável é aquela gerada por fontes de recursos naturais em abundância e que se renovam constantemente ao serem usadas, sendo exemplos destas, as fontes hídricas, solar, eólica, biomassa, geotérmica e oceânica. De acordo com Tavares (2012) A maioria destas fontes variam ao longo do ano, variações que podem ser tanto anualmente quanto diariamente, como a fonte solar, que não pode ser utilizada à noite; e a eólica, em dias que não há ventos; ou a fonte hídrica em períodos de estiagens (secas). Enquanto isso, como umas das principais fontes de energia não renováveis, ou seja, que possuem recursos naturais finitos e que geram grandes impactos ambientais significativos, tem-se os combustíveis fósseis, energia nuclear e gás natural.

É importante ressaltar que as fontes renováveis são avaliadas como limpas, devido a sua baixa emissão de gases de efeito estufa (GEE) e outras substâncias nocivas ao meio ambiente, em relação as fontes fósseis. As fontes de energias renováveis, além de promover estes benefícios, se forem implantadas de forma adequada podem contribuir para a universalização do acesso à energia (Tavares, 2012). O seu custo de produção pode ser inferior à energia proveniente dos combustíveis fósseis e são mais efetivas na geração de empregos (Tavares, 2012).

No que tange ao “Desenvolvimento Sustentável”, termo popularizado através do relatório “Nosso Futuro Comum”, publicado, em 1987, pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, da Organização das Nações Unidas (ONU), a utilização de fontes de energia renovável na matriz energética brasileira e mundial demonstra-se imprescindível para este desenvolvimento ser efetivo, já que podem contribuir para o desenvolvimento social e econômico, segurança energética, mitigação das mudanças climáticas e redução de problemas ambientais e de saúde causadas pela poluição. De acordo com Tavares (2012, o uso em larga escala de fontes renováveis e limpas é considerado uma das principais estratégias essenciais no enfrentamento das mudanças climáticas causadas pelo aumento de gases que agravam o efeito estufa na atmosfera

2.1. Contexto energético do Brasil

De acordo com evidências históricas, a inserção da eletricidade no Brasil foi realizada durante o desenvolvimento industrial do Primeiro Mundo (Lemos, 2016). No século XIX, surgiram as primeiras usinas de energia elétrica, no momento em que estava ocorrendo o

início do processo de eletrificação das metrópoles do mundo inteiro. Nesse início, aproximadamente entre 1880 e 1900, o desenvolvimento para a geração de energia era baseado em pequenas usinas geradoras, com propósito de atender algumas atividades econômicas, como manufatura, mineração, agricultura e de energia dos serviços públicos de iluminação.

A primeira usina hidrelétrica foi construída na cidade de Diamantina, a qual convertia a energia potencial fornecida pelas águas do Ribeirão do Inferno, em 1883. E no mesmo ano, D. Pedro II, tendo cedido a Thomas Edison o privilégio de introduzir no país aparelhos de sua invenção, para o uso de luz elétrica, na cidade de Campos foi inaugurado o primeiro serviço público municipal de energia elétrica do Brasil. Após seis anos, no industrial mineiro, foi construído uma usina hidrelétrica para atender à fábrica de tecidos, abandonando a utilização do carvão importado.

Desse modo, foi construída às margens do Rio Paraibuna, em Juiz de Fora (MG), a usina de Marmelos, composta por duas turbinas de 125kWh cada. Ainda, de acordo com Tavares (2012), no final do século XIX, outros empreendimentos de geração foi tomando forma no país, tanto usinas hidrelétricas quanto termelétricas. Consequentemente diversas empresas foram criadas para explorar o potencial e serviços elétricos das cidades do país. Com o Plano de Metas do governo de Juscelino Kubitschek, o Ministério de Minas e Energia (MME) foi criado em 1960. Posteriormente, foi inaugurado a Central Elétrica de Furnas S.A., a fim de solucionar a crise de energia que ocorria na Região Sudeste (Lemos, 2016).

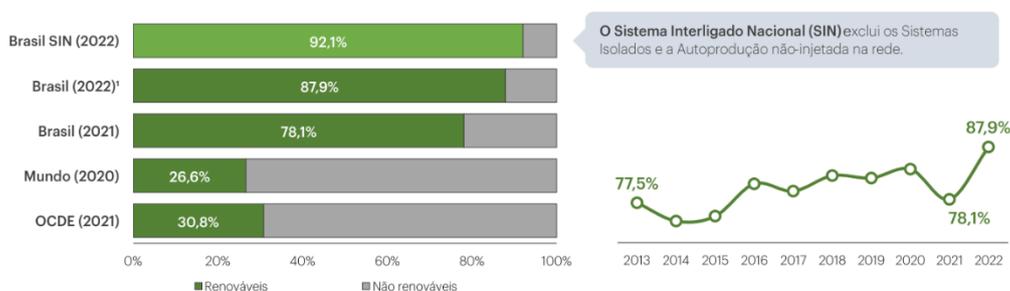
Na mesma década, o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) iniciou suas atividades, e em 1985, foi estabelecido o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), promovendo a otimização do uso da energia elétrica. No mesmo ano, entrou em operação a Usina Termonuclear Angra I, a primeira usina nuclear do Brasil. Outros projetos de usinas termonucleares brasileiras foram posteriormente delegados à Eletrobrás Termonuclear SA, criada em 1997. Em 2000, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) foi instituído, com a responsabilidade de formular e propor as diretrizes da política energética nacional.

Além disso, em 2001 o país passou pela maior crise de energia elétrica de sua história, agravada por condições hidrológicas desfavoráveis, o que gerou a implementação de programas de racionamento em algumas partes do território brasileiro e na criação da

Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica (GCE), entre outras medidas. Assim, usinas hidrelétricas, termelétricas e de produção de biodiesel foram construídas entre os anos de 2000 e 2010, também houve a criação de novas empresas, câmaras e comitês (como a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica e o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico, entre outros) e programas como o “Luz para Todos”, para levar à energia aos milhões de brasileiros sem acesso a eletricidade. Entre esses, o Proinfa (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica), de acordo com o site da MME, foi criado com a finalidade de alavancar o uso da energia elétrica produzida por empreendimentos baseados em fontes eólicas, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN), de acordo com Tavares (2016).

Desta forma, ao longo dos anos foi observado a crescente evolução de geração de energia no país, sendo assim a matriz energética brasileira caracterizada por um conjunto de fontes diversas de energia, devido à grande disponibilidade de recursos do país, e alta demanda em diferentes setores, como transporte, indústria e residências. Notavelmente, a matriz é diversificada e conta com uma combinação de fontes renováveis e não renováveis.

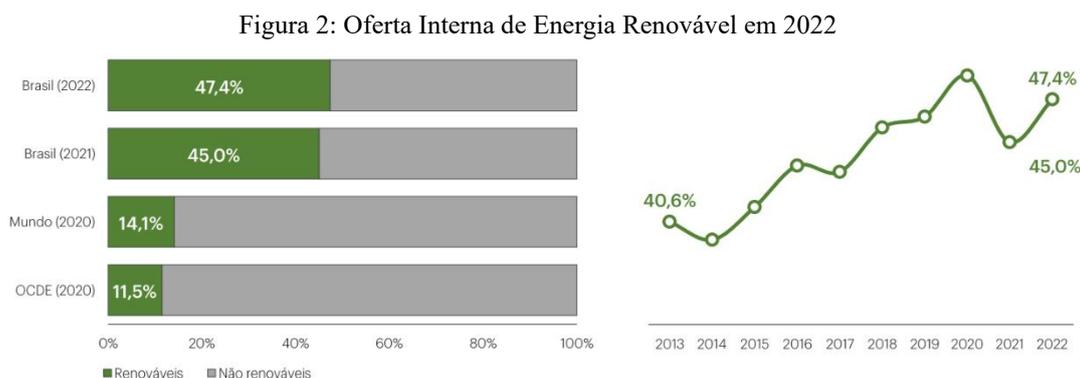
Figura 1: Participação de renováveis na matriz elétrica brasileira



Fonte: Relatório Síntese BEN, 2023

Na Figura 1, temos os dados das porcentagens da participação de energias renováveis na matriz elétrica brasileira, em contraponto das não renováveis. Neste levantamento, foi incluso todo o “Sistema Interligado Nacional (SIN)”, os “Sistemas Isolados” e a “Autoprodução não-injetada na rede”. De acordo com as estatísticas retiradas do Relatório Síntese 2023 do Balanço Energético Nacional, as energias renováveis obtiveram 87,9% de renovabilidade em 2022, no qual este cálculo tem como base a Oferta Interna de Energia Elétrica, ou seja, toda a geração nacional mais a importação líquida, o que inclui a parcela importada de Itaipu (Balanço Energético Nacional, 2023).

Segundo dados da Figura 2, retirados do Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (ano base de dados 2022) o país conta com 47,4% de participação de renováveis na oferta interna de energia, a energia hidráulica maior responsável pelo aumento na oferta de energia renovável. Essa renovabilidade é calculada com base na Oferta Interna de Energia – OIE



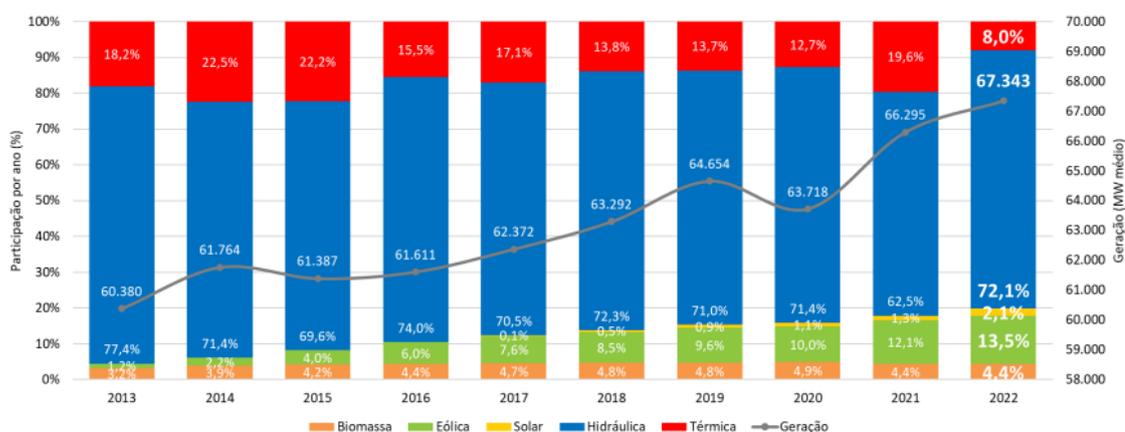
Fonte: Relatório Síntese BEN, 2023.

Em relação a Oferta de Energia Elétrica, de acordo com o Balanço Energético Nacional (2023), realizado pela EPE, houve um crescimento de 87,9% na participação de renováveis em 2022, na qual houve uma alta da geração de energia solar fotovoltaica de 79,8% e expansão de 82,4% de sua capacidade em relação com o ano anterior. Além disso, a geração de energia hidráulica cresceu 17,7% em relação à 2021, enquanto a eólica atingiu um crescimento de 12,9% e teve uma expansão de 14,3%. Em contrapartida, houve uma queda na geração de energia termelétrica de 32,3%.

Além disso, a Geração Centralizada pode ser realizada por meio de diversas fontes de energia, como hidrelétricas, termelétricas a gás, carvão ou óleo, usinas nucleares, entre outras. Essas fontes são escolhidas com base na disponibilidade de recursos naturais, demanda energética, custos e outros fatores relevantes para o suprimento confiável e eficiente de eletricidade para a população e indústria. O levantamento da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, sobre a geração solar centralizada, teve-se o maior aumento de geração em 2022, de 64,3% em relação ao ano anterior, produzidos mais de 1,4 mil MW médios, com a chegada de 88 novas fazendas solares ao Sistema Interligado Nacional – SIN, fazendo o segmento alcançar 4% de representatividade na matriz nacional.

Em uma notícia publicada pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (2023), no que diz respeito à geração hidráulica, houve um aumento de 17,1% na produção das hidrelétricas, para 48 mil MW médios. A geração eólica cresceu 12,6% em comparação anual. Sobre a produção de energia proveniente da biomassa, que tem como principal matéria-prima o bagaço da cana-de-açúcar, foi registrado um aumento de 0,3%, gerando para o sistema quase 3 mil MW médios em 2022, com cerca de 321 usinas deste tipo.

Figura 3: Evolução da Geração por Fonte.



Fonte: CCEE, 2022.

3. AS FONTES RENOVÁVEIS DO BRASIL

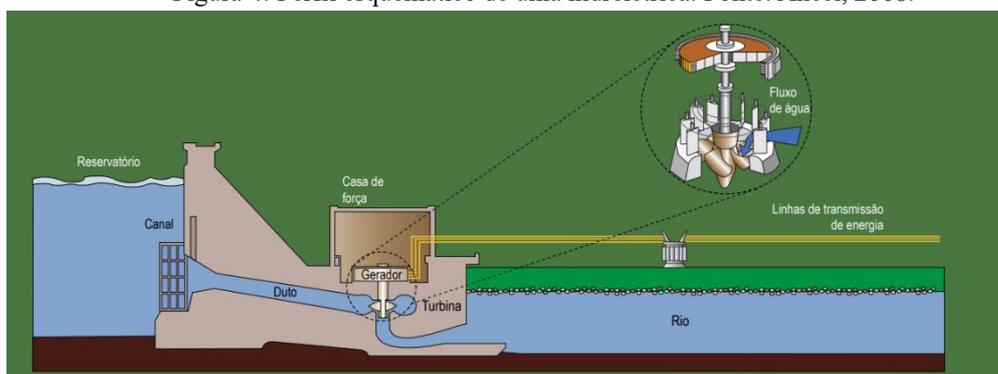
3.1. Hidrelétricas

O Brasil de maneira predominante, possui uma matriz elétrica de origem renovável, marcada pela predominância da energia hidráulica, já que possui grandes rios e vastos recursos hídricos, o que possibilita a construção de usinas hidrelétricas de grande porte, e pela sua competitividade econômica. Essa fonte é fundamental para garantir o fornecimento de energia elétrica, especialmente em épocas de chuva e é considerada uma tecnologia madura e confiável, em vista da grande questão em relação a emissões de gases de efeito estufa e o desenvolvimento sustentável.

Para criar uma segurança energética, ou seja, mitigar a incerteza e a sazonalidade hidrológica, explorando os distintos regimes de chuvas nas inúmeras bacias hidrológicas, tem-se a construção de usinas hidrelétricas com reservatórios de acumulação, interligações regionais e usinas termelétricas em regime operativo complementar. Estes componentes geram o sistema elétrico interligado brasileiro, chamado de sistema hidrotérmico, no qual interliga grande parte do país, proporcionando o controle da energia produzida (despacho) de forma centralizada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), que objetiva otimizar a demanda de acordo com suas variações, colocando em prática também a segurança do sistema e qualidade da energia elétrica fornecida (Tolmasquim, 2016).

A energia elétrica, proveniente da energia hidráulica se dá por meio da transformação de energia potencial em energia cinética, que é convertida para energia mecânica na turbina, tem-se por sua vez a transformação em energia elétrica no gerador. Esta energia é oriunda da energia das águas dos rios que flui de elevações mais altas para mais baixas, e assim, a quantidade de energia elétrica produzida depende diretamente da vazão e da queda, o desnível vertical do aproveitamento.

Figura 4: Perfil esquemático de uma hidrelétrica. Fonte: Aneel, 2008.



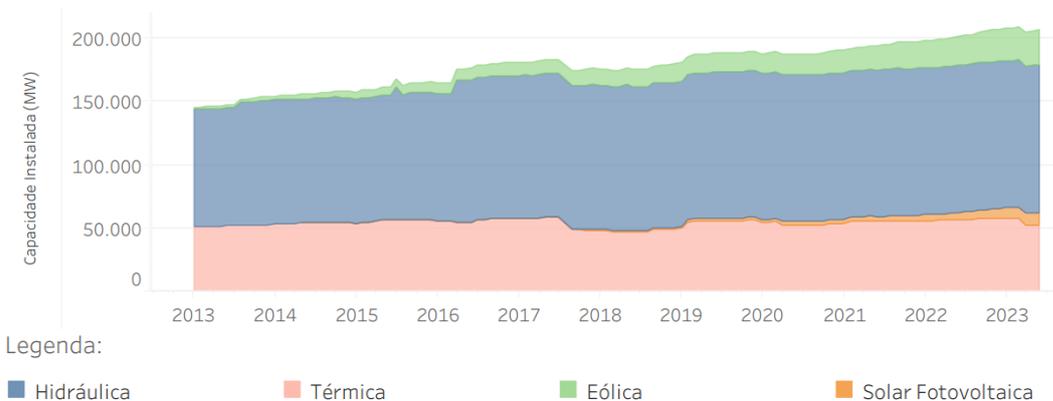
Fonte: Aneel, 2008.

A composição de uma usina hidrelétrica é resumida em barragem, sistemas de captação e adução de água (processo ou sistema que permite o transporte e condução de água de uma fonte ou ponto de captação até o local de consumo, distribuição ou armazenamento), casa de força e vertedouros, onde cada segmento deste, da construção, deve ser projetado para funcionar em conjunto. No que tange a capacidade de conversão de energia elétrica, as hidrelétricas com centrais mais modernas possuem normalmente uma eficiência superior a 90% nas turbinas e mais de 99% nos geradores, totalizando um fator de conversão maior que 90% (Tavares, 2012).

A energia hidroelétrica, proveniente dos cursos d'água, pode ser aproveitada de três maneiras: a primeira maneira são as usinas com reservatório de acumulação, em que uma barragem é construída, realizando o represamento da água do curso d'água, gerando um reservatório onde permite a formação do desnível crucial para a regularização da vazão dos rios, que varia devido a períodos de chuva ou estiagem. A segunda maneira tem-se as usinas de fio d'água, onde não se constrói um reservatório de acumulação, criando a dependência da vazão do rio para a geração de energia, desta forma é reduzido as áreas de alagamento, mas não há a estocagem de água para regularização da produção de eletricidade. E na terceira maneira, tem-se as usinas com bombeamento, onde a água é bombeada de um reservatório inferior para o superior, nos momentos de baixa demanda, utilizando-se a energia da rede elétrica, e no quando a demanda é maior, essa água é liberada e gera energia elétrica, de acordo com Tavares (2016).

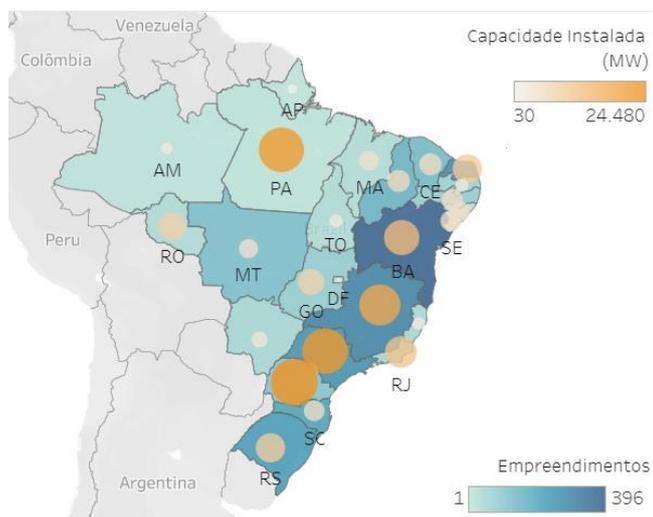
A seguir, será exposto dados sobre o status da geração de energia advinda das usinas de fonte hidráulica, térmica, eólica e solar fotovoltaica no Brasil. Além de quantidades de usinas por região e capacidade instalada, dados estes extraídos do Painel de Geração da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, mês de referência Junho de 2023.

Figura 5: Capacidade Instalada de Energia em MegaWatts (MW) por fonte, no período de dezembro de 2012 à maio de 2023.



Fonte: CCEE, 2023.

Figura 6: Quantidade de usinas e Capacidade Instalada (MW) por estado.

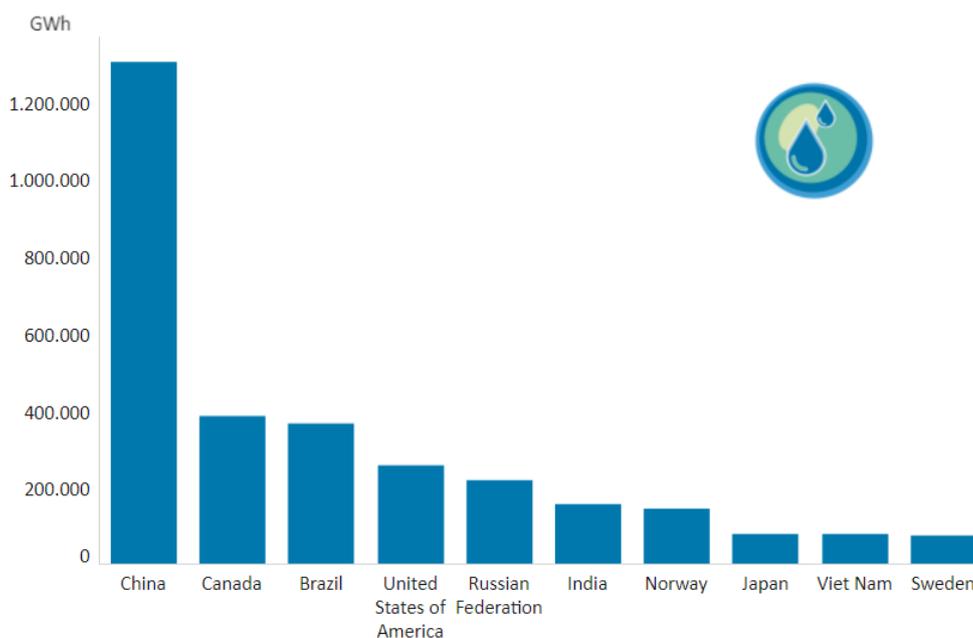


Fonte: CCEE, 2023

Com base nos dados apresentado pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, a quantidade de empreendimentos presentes no Brasil é de 2.708 usinas, valor este, referente as fontes Hidráulica, Térmica, Eólica e Solar. Tem-se como os cinco estados com maior parcela de empreendimentos totais, o estado da Bahia (BA), contando com 396 usinas (capacidade instalada de 13.733 MW), Minas Gerais, com 302 usinas (capacidade instalada de 18.769MW), Rio Grande do Norte com 283 usinas (capacidade instalada de 9.518 MW), São Paulo com 261 usinas (capacidade instalada de 22.842 MW) e Rio Grande do Sul com 233 usinas (capacidade instalada de 9.529 MW).

Através dos dados emitidos do site da Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), tem-se que o Brasil é o terceiro maior gerador de hidroeletricidade do mundo, contando com 362.818,50. Ficando apenas atrás da China, com uma geração de 1.300.000,0 GWh, e do Canadá, com 382.756,0 GWh.

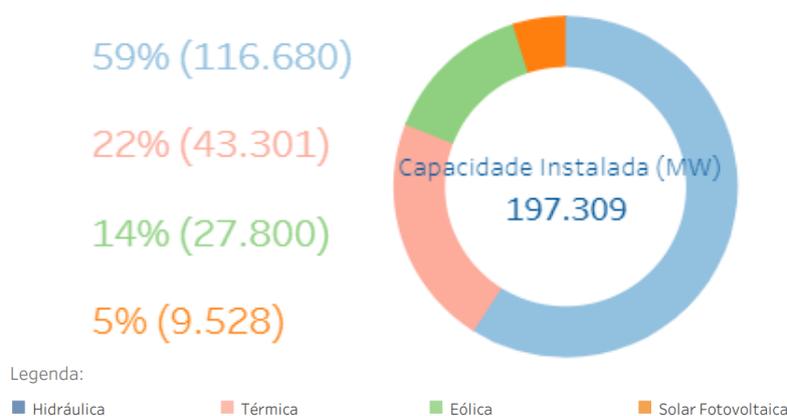
Figura 7: Ranking de países que mais geraram energia hidrelétrica em 2021.



Fonte: IRENA.

Através do Painel de Geração da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, mês de referência Junho de 2023, o Brasil conta com 59% da capacidade de energia instalada de energia hidráulica, em relação as fontes Térmicas, Eólicas e Solar Fotovoltaicas. Porcentagem está que equivale a 116.680 MW de energia.

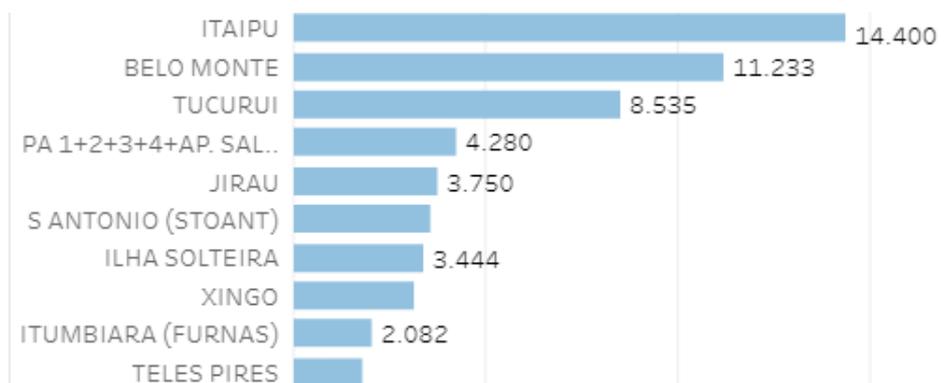
Figura 8: Capacidade de Energia Instalada.



Fonte: CCEE, 2023.

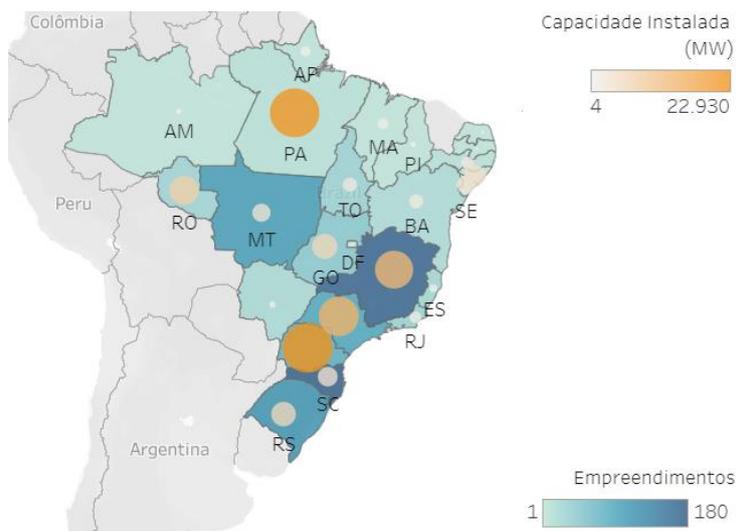
Segue dados das Usinas Hidrelétricas no gráfico da Figura 9, no qual mostra do total de 963 usinas hidrelétricas, sendo as três maiores a usina de Itaipu, com capacidade instalada de 14.400 MW, a de Belo monte com capacidade instalada de 11.233, e a de Tucuruí 8.535 MW.

Figura 9: Usinas com maior capacidade instalada.



Fonte: CCEE, 2023.

Figura 10: Concentração de usinas hidrelétricas por região.



Fonte: CCEE, 2023.

A figura acima, tem-se os dados regionais, onde o Brasil possui maior concentração de usinas hidrelétricas nas regiões de Santa Catarina, com 180 usinas (capacidade instalada de 3.585 MW), e em Minas Gerais, com 173 usinas (capacidade instalada de 13.419 MW). No parâmetro de Capacidade Instalada, as regiões com maiores capacidades é Paraná (22.930 MW) e Pará (22.427 MW).

A expansão da produção de energia por hidrelétricas tem como pressuposto as discussões e preocupação mundial sobre emissões de gases do efeito estufa, que prejudicam

o planeta, pois a hidroeletricidade possui um papel duplamente importante para a redução das emissões no setor elétrico. Esse papel, de acordo com Tolmasquim (2016), se dá pelo fato de ser uma fonte renovável (emite gases de forma bem reduzida, em comparação com aquelas associadas à geração termelétrica fóssil), e possuir flexibilidade operativa. Além de capacidade de armazenamento, fazendo com que haja maior penetração de fontes renováveis intermitentes, como a geração eólica e a solar fotovoltaica. Ademais, as usinas hidrelétricas, são capazes de responder rapidamente às flutuações típicas da geração eólica e solar fotovoltaica, assim garantindo um atendimento confiável da demanda de energia. Tem-se os reservatórios hidrelétricos como única tecnologia economicamente competitiva capaz de armazenar grandes quantidades de energia, ou seja, essencial para maximizar o atendimento da demanda de eletricidade com fontes renováveis de geração (Tolmasquim, 2016).

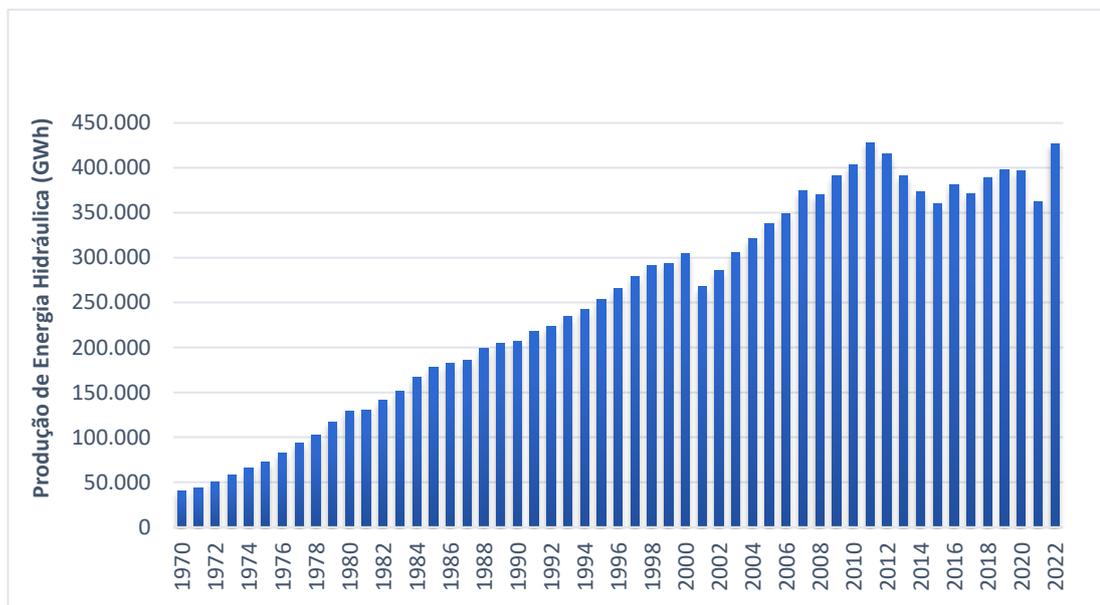
O autor ainda defende que, no que tange ao assunto de evolução das usinas hidrelétricas no Brasil e seu desenvolvimento desde o início dos anos 2000 merece atenção, principalmente, no referente ao racionamento de energia em 2001, que revelou a urgência de investimentos em geração e transmissão de energia elétrica, porém as alternativas na época eram limitadas, e assim houve o incentivo da ampliação do parque termelétrico. Com isso, essas usinas reduziram a vulnerabilidade do sistema nos períodos de estiagem e possuíam o poder de implantação rápida. Posteriormente, houve a procura de recomeçar o planejamento de médio e longo prazo para a viabilização de novas hidrelétricas.

Estas ações de planejamento, do Setor Elétrico Brasileiro, estavam concentradas na Eletrobrás, criada em 1963, um ano após a criação do Ministério de Minas e Energia. No mesmo viés, teve-se realce a criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Paralelo ao desenvolvimento dos sistemas energéticos, instrumentalizou-se no país, o planejamento energético integrado de forma conjunta as fontes e os usos tanto da energia primária quanto da energia secundária, nomeadamente: petróleo, gás, combustíveis líquidos, biomassa, hidrelétricas, eólica, solar, energia elétrica, carvão, resíduos sólidos, eficiência energética, energia distribuída, etc.

Além disso, outro evento que mostrou absolutamente relevância na dinâmica do desenvolvimento da hidroeletricidade foi o advento das fontes renováveis não-híbridas, de maneira mundial, ou seja, em larga escala, com competitividade crescente das tecnologias eólica e solar fotovoltaica. No Brasil começou lentamente com o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas), através dos incentivos a pequenas centrais hidrelétricas,

termelétricas a biomassa e usinas eólicas. O gráfico abaixo demonstra, a partir de dados obtidos através do Documento de Apoio ao PNE 2050, publicado pela EPE em 2018, a evolução da produção de energia hidráulica entre 1970 até 2022, atingindo 427.114 GWh.

Gráfico 1: Produção de Energia Hidráulica (GWh) entre 1970 e 2022.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2. Biomassa

Para a produção de energia por meio da biomassa, tem-se diversas fontes de matéria-prima que incluem: resíduos agrícolas; dejetos de animais; resíduos das indústrias florestais, de papel e celulose e alimentícia; resíduos urbanos (lixo); matéria orgânica de esgotos sanitários; culturas energéticas, como as vindas de rotação de cultura, florestas energéticas, gramíneas, culturas de açúcar (cana-de-açúcar e beterraba), culturas de amido e oleaginosas (Tolmasquim, 2016). Para a geração de energia elétrica por meio da biomassa, existe vias tecnológicas diversas que possuem em todas, o processo de conversão da biomassa em um produto intermediário que será então utilizado em uma máquina motriz, onde será produzida a energia mecânica que acionará um gerador de energia elétrica.

No Brasil, a biomassa predominante utilizada para a geração de energia elétrica é o bagaço da cana. Este efeito vem de sua poderosa indústria de etanol e açúcar estabelecida em solo nacional. Historicamente, o Programa Nacional de Álcool (Proálcool), criado em 14 de novembro de 1975, foi uma das políticas de maior efeito para introdução de biocombustíveis no mercado brasileiro. Com o programa, teve-se a consolidação e ampliação da indústria sucroenergética, tornando-se referência internacional. No país, a

principal forma de geração de bioeletricidade é através do processo de cogeração, que permite a geração combinada de energia elétrica e de energia térmica (calor e/ou frio) (Tolmasquim, 2016).

A maior participação da geração de energia elétrica a partir do bagaço da cana é presente nos meses de processamento da safra de cana-de-açúcar. Isso porque, naquelas localizadas na região centro-sul, sua incidência ocorre entre os meses de abril e novembro, justamente no período de menor oferta de energia hidrelétrica, sendo de grande relevância para o sistema elétrico brasileiro. As tecnologias de destaque que compõem as inovações estudadas no Plano Nacional de Energia 2030, para a aprimoração da utilização dos recursos energéticos provenientes da biomassa na produção de energia elétrica pela indústria sucroalcooleira são, de forma resumida:

- Ciclo a vapor com turbinas de contrapressão, empregado de forma integrada a processos produtivos por meio da co-geração, em que a biomassa é queimada diretamente em caldeiras e a energia térmica produzida é utilizada na produção de vapor que acionará as turbinas usadas no trabalho mecânico necessário nas unidades de produção e as turbinas para geração de energia elétrica. E também tem o aproveitamento do vapor liberado por esses processos, que ao invés de ser liberado na atmosfera, pode ser encaminhado para o atendimento das necessidades térmicas do processo de produção.
- Ciclo a vapor com turbinas de condensação e extração, baseia-se na condensação total ou parcial do vapor final do trabalho na turbina, a fim de atendimento às atividades mecânicas ou térmicas do processo produtivo, no qual essa energia que será condensada, quando inserida em um processo de cogeração, é retirada em um ponto intermediário da expansão do vapor que movimentará as turbinas. Em comparação ao ciclo de contrapressão, a diferença principal é a presença de um condensador na exaustão da turbina, que proporciona maior flexibilidade da geração termelétrica (deixa-se de ser condicionada ao consumo de vapor de processo) e de níveis determinados para aquecimento da água que alimentará a caldeira, que aumenta a eficiência global da geração de energia. Desta forma, esse processo obtém maior volume de energia, porém exige maior investimentos, superiores aos necessários para implantação do sistema simples de condensação.

- Ciclo combinado integrado à gaseificação da biomassa, tem-se a gaseificação que é a conversão de qualquer combustível líquido ou sólido, como biomassa, em gás energético através da oxidação parcial em temperatura elevada. A conversão é promovida em gaseificadores, que produzem gás combustível, o qual permite ser utilizado em usinas térmicas movidas a gás para a geração de energia elétrica.

3.3. Geotérmica

A geração de energia geotérmica, é realizada através do aproveitamento da energia térmica armazenada no interior da Terra, em rochas ou a partir de água aprisionada no estado líquido ou de vapor. Esta geração é proveniente da produção de energia mecânica, a partir de poços que permitem gerar fluidos aquecidos, os quais movimentam turbinas, e assim acontece a conversão para eletricidade por meio de geradores elétricos. Tem-se, de acordo com Tolmasquim (2016), três tecnologias para a exploração dos recursos geotérmicos:

- Plantas de vapor rápido, nas quais é realizado o aproveitamento do vapor originado da redução da pressão da água proveniente de reservatórios hidrotermais de alta temperatura.
- Plantas de vapor seco, são aquelas onde se dispõe de reservatórios que produzem vapor seco, ou seja, sem água líquida, que é enviado diretamente para as turbinas a vapor.
- Plantas binárias, se baseiam na utilização de recursos geotérmicos de baixas para médias temperatura, que vaporizam fluidos de baixo ponto de ebulição através de trocadores de calor.

Uma grande vantagem dessa fonte, é o fato de não variar diariamente ou nas estações do ano, sendo um recurso considerado constante, e sustentável, já que em termos de emissão de gases poluentes nocivos a atmosfera, seus níveis de emissões são baixos. Entretanto, em aspecto mundial, as condições para operações de usinas geotérmicas são específicas e de alto custo, necessitando de locais onde possuem a fonte, o que corresponde a 10% do planeta. No quesito sustentabilidade, para implementação de usinas geotérmicas, não há o desmatamento e desvio de curso de rios, e nem risco de contaminação por vazamento de resíduos ou contaminação da atmosfera. Os principais pontos negativos, no que tange a

impactos ambientais, são a deterioração do campo geotérmico, elevação da temperatura na região ao redor da usina e poluição sonora

No Brasil, a fonte geotérmica não é aproveitada de maneira, indireta, ou seja, para produção de energia elétrica, mas o seu aproveitamento realizado do calor é de forma direta (de baixa e média entalpia) devido a geologia do país, para fins residenciais, industriais, agrícolas. A produção de energia elétrica por meio desta fonte não é contemplada no Plano Nacional de Energia (PNE 2030) e o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2024) não considera ações para o aproveitamento do recurso geotermal (Campos *et al*, 2017).

3.4. Oceânica

A geração de energia elétrica através do oceano ainda está em fase de evolução, pois possui demandas elevadas de recursos energéticos e investimento. Mas é evidente que o mar é um reservatório de energia mecânica e térmica (em relação a térmica, devido o atual nível de tecnologia, ainda não possui capacidade eficiente de produção de energia elétrica). A utilização da energia advinda dos oceanos para geração de eletricidade é considerada limpa, de alta densidade energética e com distribuição mundial, ou seja, uma fonte que pode ter muita expressão na matriz energética mundial.

O recurso renovável no oceano é composto por cinco fontes distintas, as quais demandam tecnologias específicas para a geração de eletricidade: as ondas, no qual faz-se o aproveitamento da energia cinética e potencial das ondas do mar; correntes de maré e marinhas, no qual a energia cinética proveniente das correntes de marés e marinhas produz energia elétrica através de turbinas no qual aproveita o fluxo de água sem a necessidade de construção de reservatórios. Marés, fonte esta que precisa da construção de barragens em regiões que possuem grandes diferenças de nível de maré; gradientes de temperatura, que pode ser utilizada para produzir energia a partir da diferença de temperatura entre a superfície e o fundo dos oceanos por meio de distintos processos de conversão de energia térmica dos oceanos. O gradiente de salinidade, através da diferença de salinidade nos estuários, podendo ser aproveitada a diferença de potencial químico ou diferença de pressão osmótica entre a água doce dos rios e a água do mar (Tolmasquim, 2016).

O Brasil possui uma costa com mais de 7.400 km, sendo que a população se concentra em regiões próximas do litoral. A energia das marés é a forma de energia dos oceanos mais

avançada até agora. Centrais elétricas que usam essa energia funcionam bem comercialmente desde os anos 1960 na França, com a usina de La Rance, e em outros lugares como o Canadá, com a usina de Annapolis (1984), e na Coreia do Sul, com a usina de Lago Sihwa (2011). Outras formas de energia dos oceanos ainda estão em níveis iniciais: a energia das ondas está sendo pesquisada e a energia hidrocínética, que vem das correntes, ainda precisa de mais estudos no Brasil. Ainda, de acordo com o Plano Nacional de Energia (PNE) 2050, em relação a geração de eletricidade através do gradiente de salinidade, encontra-se em processo de desenvolvimento, com perspectiva de viabilidade técnica e econômica a partir da década de 2030. A energia térmica dos oceanos, que aproveita o calor da água, parece ser promissora no Brasil, pois as temperaturas na superfície da costa brasileira indicam serem adequadas para a produção de eletricidade (Brasil, 2020).

3.5. Energia eólica

Ao longo dos anos, o homem se deparou com o desenvolvimento agrícola e a demanda de mecanismos para potencializar etapas de trabalhos manuais, como moagem de grãos e bombeamento de água, que exigiam muito esforço braçal e animal. Desta forma, de acordo com o livro *Energia Eólica: princípios e tecnologias*, publicado pelo Centro de Referência Para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito – CRESESB (2008), teve-se a criação de moinhos de vento para realizar estes serviços de forma mais otimizada, tendo-se registrado historicamente, na Pérsia, por volta de 200 A.C., como local pioneiro do aproveitamento da energia eólica através de cata-ventos.

A transição de aproveitamento da energia eólica para etapas de trabalho, antes manuais, através de cata-ventos, para a geração de energia elétrica tem início no final do século XIX, com Charles F. Brush, que ergueu na cidade de Cleveland, Ohio, o primeiro cata-vento que produzia energia elétrica, fornecendo 12kW de corrente contínua, destinada para o carregamento de baterias utilizadas por 350 lâmpadas incandescentes. Posteriormente, na Rússia em 1931, teve-se o desenvolvimento de turbinas eólicas de grande porte, com o aerogerador Balaclava, modelo avançado de 100kW (CRESESB, 2008).

Nos primeiros anos do século XX, em paralelo ao aprimoramento da rede elétrica nos países, ocorreriam diversas pesquisas para a utilização da energia eólica para geração de grandes blocos de energia. Países como os Estados Unidos, expandiam o uso de aerogeradores de pequeno porte em redes isoladas, e na Rússia já havia investimentos na

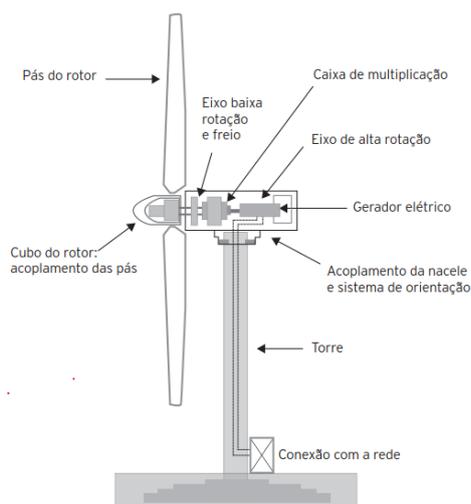
conexão de aerogeradores de médio e grande porte na rede elétrica do país (CRESESB, 2008)

Na América Latina, o país pioneiro da utilização de aerogerador foi o Brasil, no início da década de 1990, através de esforços em conjunto do Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) e a Companhia Energética de Pernambuco (CELPE), por meio de um financiamento do instituto de pesquisas dinamarquês Folkecenter. Com este projeto, havia então instalado no país, em Pernambuco, uma turbina eólica de 75 kW. Mesmo após dez anos, pouco se avançou na disseminação da energia eólica como forma de geração de energia elétrica no país, devido alto custo da tecnologia e precariedade de políticas (Simas, 2012).

A geração de energia elétrica a partir da energia dos ventos, também pode ser considerada como uma energia indiretamente solar, pois os ventos são gerados através da radiação solar que aquece, de maneira não uniforme, a superfície terrestre. A energia cinética dos movimentos das massas de ar na atmosfera, proveniente desse aquecimento, é captada por turbinas, as quais estão conectadas a um gerador elétrico e assim é produzido a energia elétrica, e as usinas eólicas podem ser caracterizadas em dois tipos de sistemas: onshore, instalados em terra e offshore, instalados sobre o mar.

Para uma melhor explicação das partes básicas de uma turbina eólica, segue abaixo na Figura 11, um esquema com os componentes de um aerogerador de eixo horizontal.

Figura 11: Perfil esquemático de um aerogerador. Fonte: REIS, 2017.



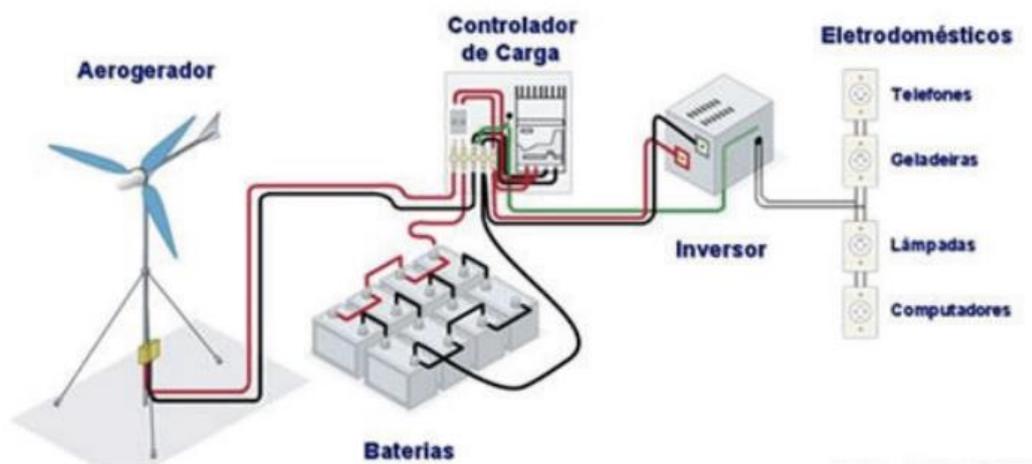
Fonte: REIS, 2017.

Como indicado na Figura 11, um aerogerador de eixo horizontal possui os seguintes componentes: rotor, composto por pás, cubo que acoplam elas, e mecanismo de controle de

passo da pá. Além disso, possui trem de acionamento, onde estão os eixos, o rotor, a caixa multiplicadora de velocidade, o freio mecânico, os acoplamentos e o gerador elétrico; nacela e sua base, compartimento que estão alojados componentes além do rotor e de seu sistema de orientação (yaw); e a torre, o suporte estrutural (Reis, 2017).

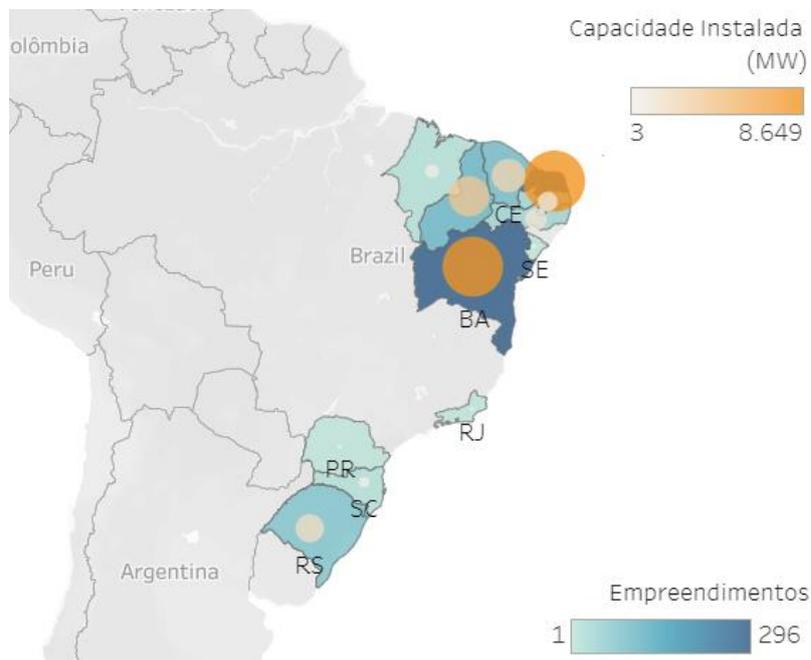
Para a composição de um sistema de energia eólica residencial, como mostra a Figura 12, tem-se como componentes básicos: turbina eólica, onde o vento e sua pressão gerada nas pás, faz o rotor girar, no qual está conectado a um gerador elétrico por engrenagens, desta forma realizando a geração de energia elétrica; o banco de baterias, geralmente utilizados em sistemas menores ou residências, que é o local onde utiliza baterias para o armazenamento da corrente contínua do gerador; o controlador de carga, o qual é crucial em sistemas eólicos com baterias, para controlar a voltagem variável, que entram nas baterias, prevenindo sobrecargas e prologando a vida útil delas; e o inversor, imprescindível no sistema, já que a turbina eólica produz energia elétrica em corrente contínua, e assim o inversor transforma a corrente contínua para corrente alternada, possibilitando a conexão do sistema na rede elétrica residencial de tensão alternada.

Figura 12: Componentes de um aerogerador residencial.



Fonte: Tolmasquim, 2016.

Figura 13: Quantidade de usinas Eólicas e Capacidade instalada (MW) por estados.



Fonte: CCEE, 2023.

Através do Painel de Geração da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, mês de referência Junho de 2023, o Brasil conta com 22% da capacidade de energia instalada proveniente da energia eólica, em relação as fontes Térmicas, Hidráulicas e Solar Fotovoltaicas. Além disso, de acordo com esse painel, tem-se que o Brasil possui 959 usinas instaladas com capacidade total de 27.800 MW, nas quais, através da Figura 13, conclui-se que a região Nordeste domina na presença de usinas eólicas do país, já que além dos estados desta região, tem-se usinas apenas no Rio de Janeiro (com uma usina de capacidade instalada total de 28,05 MW), no Paraná (com uma usina de capacidade total de 2,5 MW), em Santa Catarina (presentes 15 usinas, de capacidade total de 243,0 MW), e no Rio Grande do Sul (com a presença de 80 usinas, com capacidade total de 1.836 MW).

Figura 14: Geração de energia eólica (TWh) por região.

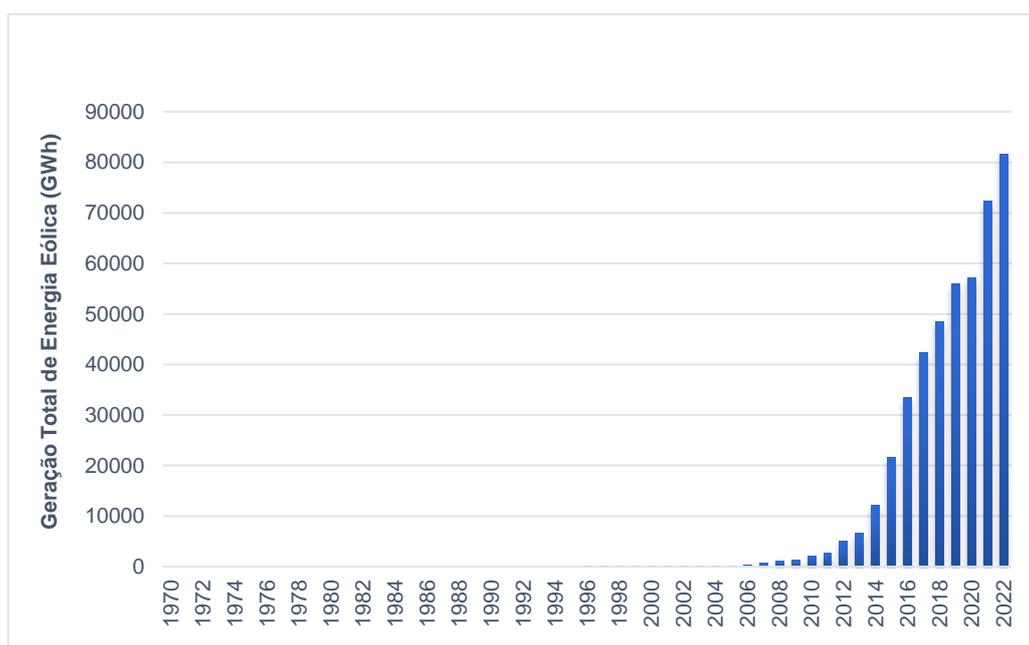
Região	2021		2022		% de crescimento
	Geração (TWh)	Representatividade	Geração (TWh)	Representatividade	
Sudeste	0,06	0,1%	0,06	0,1%	16%
Sul	6,20	8,7%	5,95	7,6%	-4%
Nordeste	63,20	88,7%	70,48	90,3%	12%
Norte	1,76	2,5%	1,59	2,0%	-10%
Total	71,22	100%	78,08	100%	9,6%

Fonte: Boletim de Geração Eólica, 2022.

No Brasil, como podemos ver na figura 14, que mostra a comparação de Geração em TWh de energia eólica em cada região, e sua representatividade, pode-se destacar que no Nordeste possui a maioria dessa geração total do sistema eólico, com 90,3% no ano de 2022. Fato este corroborado, através da análise de dados do mapa da Figura 13, no qual evidencia o maior número de usinas na região, contando com 847 usinas ao todo, com a capacidade instalada de 25.265 MW, ou seja 88% das usinas estão na região (referente aos dados da CCEE, em junho de 2023).

De acordo com o Atlas de Potencial Eólico elaborado em 2001 pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), o Brasil possui um potencial de 143GW, ou seja, com os dados atuais de capacidade instalada serem 27.800 MW, ainda tem-se muito espaço para o desenvolvimento da geração de energia eólica no país, pois além deste potencial pesquisado por este atlas, deve-se considerar que na época, apenas avaliou tecnologia de turbinas com altura apenas de 50 metros, sendo que já se desenvolveu torres de turbinas com alturas superiores das comercializadas na época da pesquisa.

Gráfico 2: Geração Total de Energia Eólica (GWh) de 1970 à 2022. Fonte: Elaborado pelo autor.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o gráfico elaborado acima, através dos dados fornecidos pela Empresa de Pesquisa Energética, tem-se a evolução da geração total de energia eólica, ao longo dos anos, de 1970 até 2022, que atingiu 81.632 GWh. A energia eólica apresenta um grande potencial para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, mas como em qualquer setor industrial,

ela não está isenta de impactos ambientais e sociais. Pesquisas indicam que a aceitação pública da energia eólica é geralmente alta, mas para expandir sua adoção, é essencial obter apoio das comunidades locais e autoridades. Os impactos ecológicos englobam questões como colisões de aves e morcegos, alterações em habitats e ecossistemas, bem como consequências para a vida marinha.

As estruturas físicas das turbinas eólicas também podem ter efeitos variados na fauna marinha, proporcionando tanto desafios quanto oportunidades, nos casos de sistemas offshore. Além disso, os impactos sociais incluem aspectos visuais das turbinas na paisagem, uso de terra e mar, possíveis interferências em sistemas de radar, além de problemas relacionados a ruído e depreciação de propriedades. Lidar com esses impactos é vital para o planejamento bem-sucedido da energia eólica, dada a ampla variação nas regulamentações e processos de planejamento em diferentes regiões. Portanto, equilibrar os benefícios ambientais e sociais requer um esforço contínuo de pesquisa e envolvimento das comunidades. (EDENHOFER *et al.*, 2012).

Na discussão sobre o planejamento energético e incentivos ao desenvolvimento da energia eólica, o Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA), foi o pioneiro, no qual havia objetivos no início de contratar 1.050 MW de projetos integrados ao Sistema Interligado Nacional (SIN), até dezembro de 2003 e com a finalidade também de aproveitamento da energia eólica como alternativa de desenvolvimento energético, econômico, social e ambiental, fazendo-se também a complementariedade sazonal da geração elétrica. Porém este programa não obteve sucesso, por causa do curto prazo de implantação dos projetos. Mas o programa conseguiu registrar 38 empreendimentos eólicos autorizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), somando 3.338 MW, nos quais anos seguintes foram implantados pelo PROINFA (Simas, 2012).

Este PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, instituído pela Lei 10.438 de 26 de abril de 2002 e regulamentado pelo Decreto nº 5.025 de 30 de março de 2004, foi um programa que gerou grandes conquistas para a disseminação das novas fontes de energia elétrica na matriz energética nacional, em destaque a eólica. Este programa conseguiu consolidar a energia eólica como uma via energética no país, através da concretização da indústria de componentes e turbinas, no qual a necessidade de nacionalização de 60% no nível das indústrias, provocou o surgimento de uma cadeia de fornecimento para aerogeradores no Brasil. Desta forma, conclui-se que o PROINFA, foi o

grande marco para a evolução do mercado eólico, evidenciando que a energia eólica é viável tecnicamente. (Simas, 2012)

No que tange a desafios para o desenvolvimento da energia eólica, alguns pontos foram levantados no relatório do Plano de Energia Nacional 2050 (PNE 2050). Um desafio claro é a questão da logística, pois o crescimento planejado no tamanho e peso dos equipamentos representa um desafio logístico importante para a expansão da energia eólica. O transporte dos componentes dos aerogeradores continua sendo uma fonte de preocupação para fabricantes e empreendedores, devido à infraestrutura viária inadequada, especialmente no Nordeste. Mesmo quando o transporte marítimo é usado, a falta de embarcações para cabotagem no Brasil causa atrasos nos projetos. No caso de projetos eólicos offshore, o transporte dos componentes dos aerogeradores do local de fabricação até a área de montagem é complicado devido ao aumento das dimensões físicas das estruturas. Além disso, a infraestrutura portuária é crucial, sendo intensamente utilizada por embarcações específicas, especialmente durante a fase de instalação desses projetos. Em resumo, o crescimento dos equipamentos e a logística de transporte são desafios significativos para a energia eólica (Plano Nacional de Energia, 2020).

Em relação aos primeiros parques eólicos no Brasil, há uma consideração sobre a possibilidade de repotenciar aerogeradores para estender sua operação, além da alternativa de descomissionar as usinas. No entanto, a ausência de regulamentação específica no país gera incerteza sobre os requisitos ambientais e autorizações necessárias para essas ações. Ainda que a desativação de parques já seja uma realidade no âmbito do PROINFA, isso pode ter impactos variados no meio ambiente. Estabelecer diretrizes normativas para projetos eólicos poderia conferir maior segurança aos empreendedores ao avaliar os riscos envolvidos. Na perspectiva do planejamento do sistema elétrico, é fundamental acompanhar as decisões de descomissionamento para manter a estabilidade da rede e garantir o fornecimento seguro. Adicionalmente, para promover a expansão da energia eólica offshore, é necessário criar um quadro jurídico que elimine obstáculos e assegure uma base legal sólida, devido a diferentes interpretações sobre a adequação da regulamentação vigente para instalações marítimas, considerando que essa regulamentação inicial não considerou esses tipos de empreendimentos (Plano Nacional de Energia, 2020).

3.6. Energia solar com foco em fotovoltaica

A história da tecnologia solar remonta a civilizações antigas que perceberam os benefícios de construções externas para o Sol, tornando-as mais quentes e iluminadas, mesmo em climas frios. No final do século XIX, surgiram coletores solares para aquecer água e fluidos, impulsionando o uso prático em residências e indústrias, incluindo dessalinização em larga escala. Espelhos também foram empregados, como por Augustin Mouchot em 1875, elevando temperaturas para gerar energia motriz e elétrica diretamente da luz solar. A célula fotovoltaica (PV), inventada no final do século XIX, eliminou a necessidade de motores térmicos para converter luz solar em eletricidade. A moderna célula solar de silício surgiu em torno de 1940, atribuída a Russell Ohl nos Laboratórios Bell da AT&T (EDENHOFER *et al.*, 2012).

A pesquisa solar iniciou na era moderna na década de 1950, com a Sociedade Internacional de Energia Solar (ISES) e intensificação dos esforços de pesquisa em vários setores. Empresas como a Miromit em Israel avançaram no aquecimento solar de água, enquanto Harry Tabor no Laboratório Nacional de Física contribuiu para a integração da energia solar como fonte de água quente residencial em Israel. Redes de medição de irradiância solar também foram lógicas. A crise do petróleo nos anos 70 impulsionou programas de P&D em energia solar em todo o mundo. A energia proveniente do sol é uma fonte extremamente abundante. Na verdade, em apenas uma hora, uma quantidade de energia solar que atinge a Terra supera o consumo total de energia mundial ao longo de um ano inteiro. O potencial da energia solar para atenuar os impactos das mudanças climáticas são notavelmente significativos. À exceção das modestas emissões de dióxido de carbono (CO₂) geradas durante a fabricação de dispositivos de conversão, a utilização direta da energia solar resulta em uma emissão mínima de gases de efeito estufa e tem a capacidade de substituir quantidades consideráveis de combustíveis não renováveis (EDENHOFER *et al.*, 2012).

Os sistemas de energia fotovoltaica transformam a energia solar de maneira direta em eletricidade por meio de células fotovoltaicas, que são fornecidas com materiais semicondutores. Essas células são organizadas em módulos ou painéis fotovoltaicos e são combinadas com inversores e baterias para atender às demandas específicas. Os módulos podem compor sistemas modulares variando de algumas unidades de watts até diversos megawatts, enquanto os inversores convertem a corrente contínua gerada pelas células em corrente alternada, viabilizando a conexão com a rede elétrica ou a utilização em dispositivos

que funcionam com essa corrente. As baterias desempenham a função de armazenar energia para serem utilizadas em momentos em que não há radiação solar.

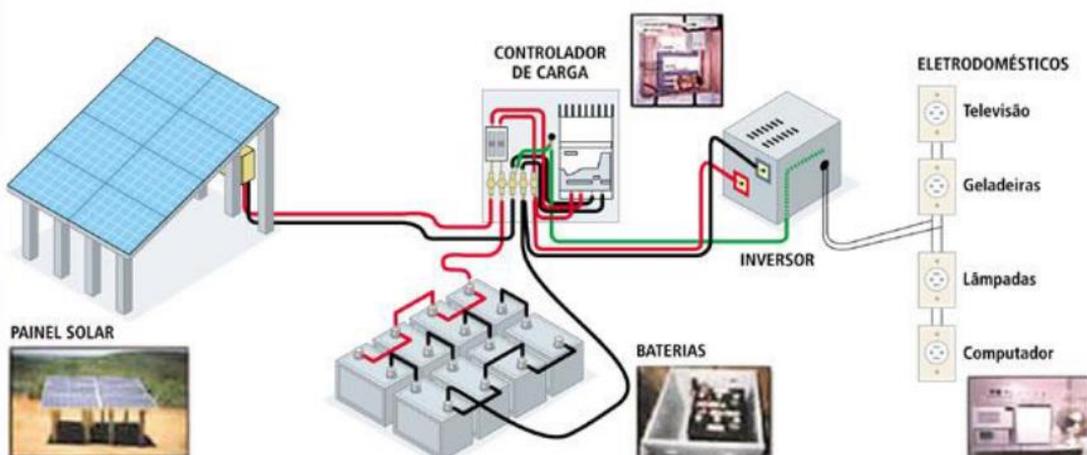
Existem duas tecnologias principais predominantes para a criação de módulos fotovoltaicos: silício cristalino e filmes finos. O silício cristalino, tanto em sua forma monocristalina quanto multicristalina, detém liderança no mercado. O silício monocristalino alcança eficiências de conversão entre 15% e 20%, enquanto o multicristalino atinge cerca de 14%, e tem a vantagem de custos de produção menores. Em contrapartida, os modelos de filmes finos representam aproximadamente de 10% a 15% das vendas anuais, sendo mais econômicos para produzir (com eficiências entre 7% e 13%), embora requeiram mais área para gerar a mesma quantidade de energia elétrica. Por outro lado, as células fotovoltaicas com concentradores solares podem alcançar eficiências de até 40%, e essa tecnologia está próxima de se tornar comercialmente viável.

Figura 15: Célula de silício monocristalino e célula de silício multicristalino



Fonte: CRESESB.

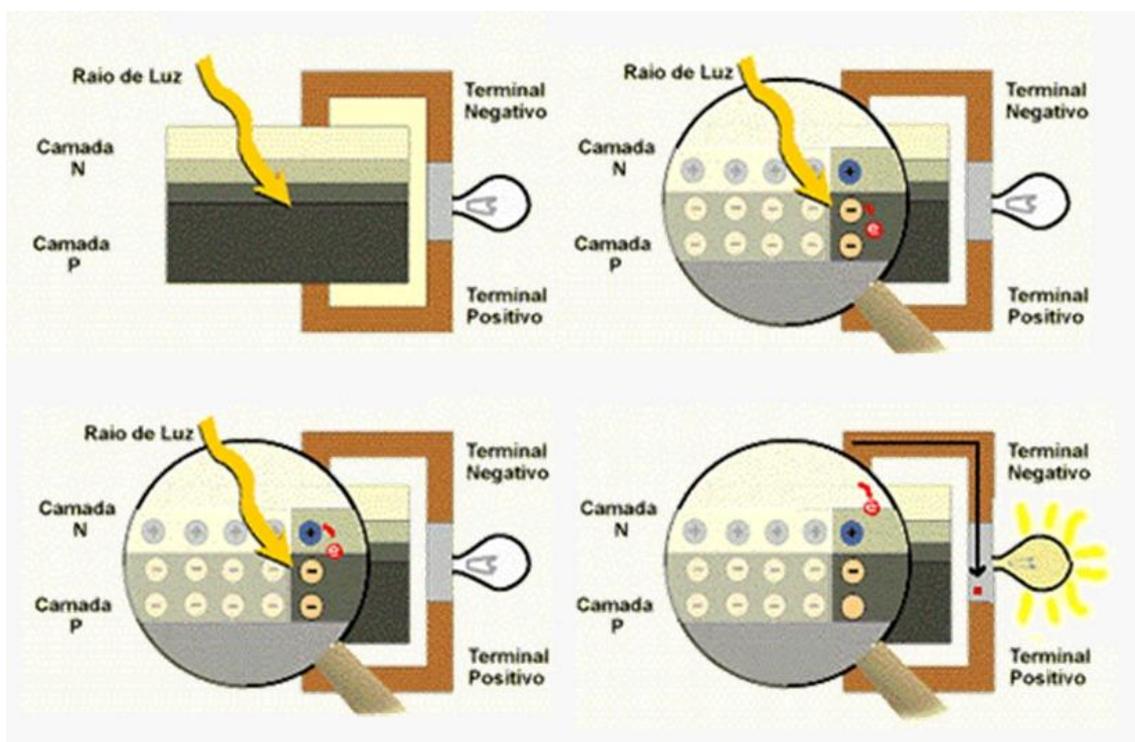
Figura 16: Esquema de sistema de aproveitamento de energia solar.



Fonte: Kemerich et al, 2016.

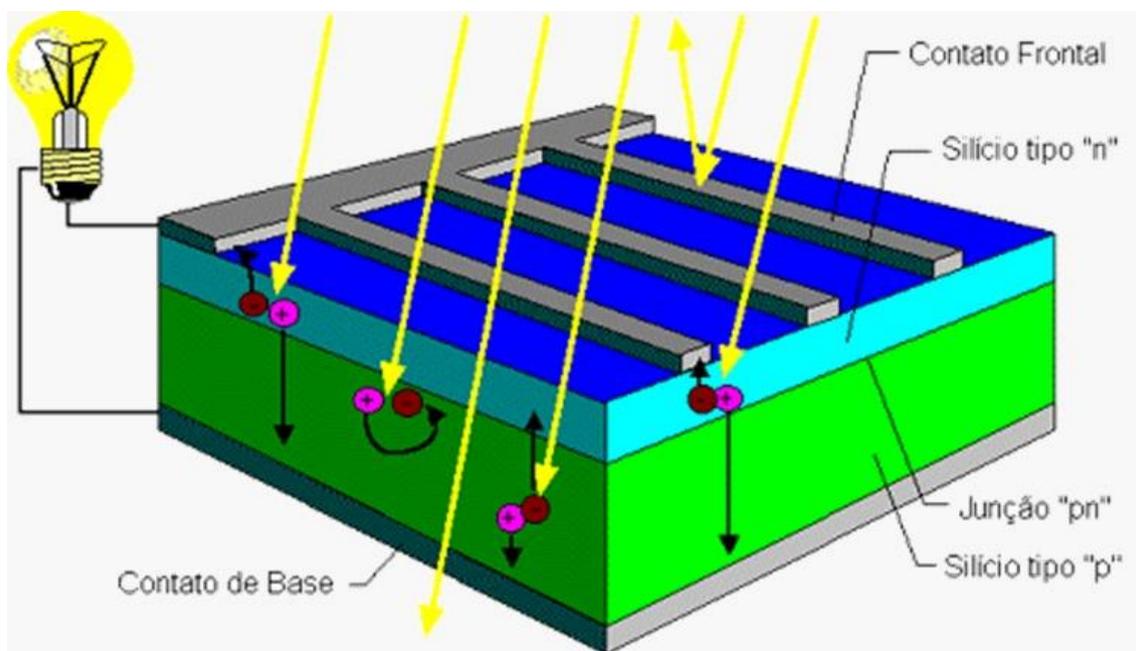
Observado pela primeira vez por Edmond Becquerel, em 1839, o Efeito Fotovoltaico é o fenômeno que acontece nas células fotovoltaicas. Estas células são construídas a partir de materiais semicondutores, como o silício, que possuem propriedades deliciosas entre condutores de eletricidade e isolantes. O processo de fabricação envolve a dopagem desses semicondutores com elementos como fósforo e boro, resultando em camadas distintas de tipo N (com elétrons livres) e tipo P (com "lacunas" ou ausência de elétrons), assim a combinação dessas camadas formam uma camada PN, e um campo elétrico é criado. Quando a luz solar incide na célula fotovoltaica, os fótons da luz transferem energia para os elétrons, permitindo que eles se movam através do material semicondutor. Isso gera uma corrente elétrica da camada P para a camada N. Ao conectar um circuito externo que liga as camadas, os elétrons fluem continuamente, criando uma corrente elétrica, enquanto há luz incidente na célula fotovoltaica. No entanto, é importante ressaltar que as células fotovoltaicas não armazenam energia elétrica.

Figura 17: Efeito fotovoltaico na junção PN



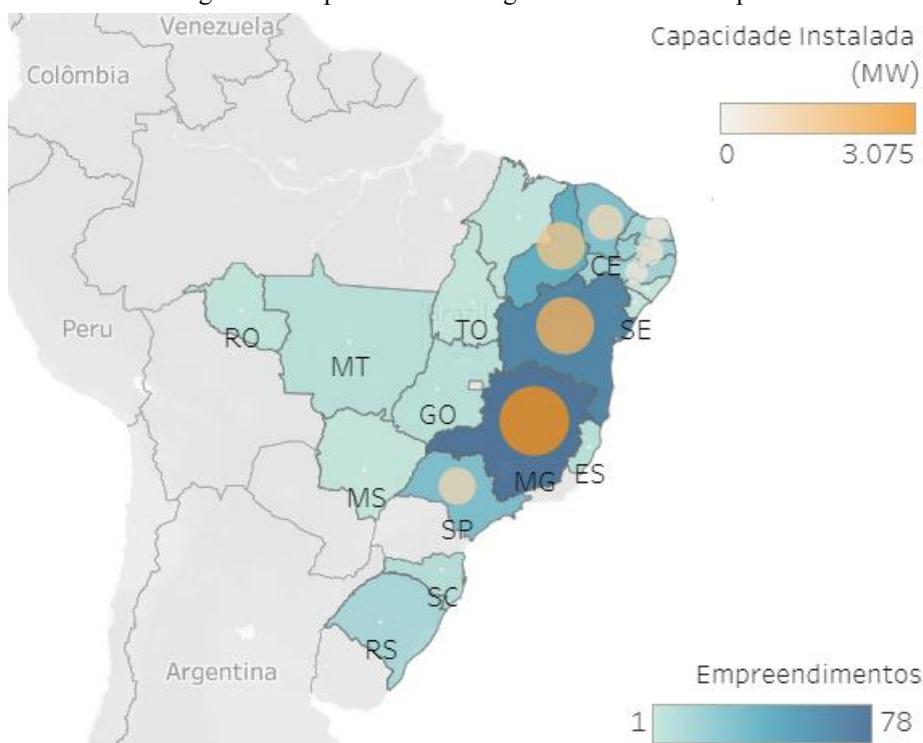
Fonte: CRESESB

Figura 18: Corte transversal de uma célula fotovoltaica.



Fonte: CRESESB.

Figura 19: Capacidade de energia solar fotovoltaica por estado.

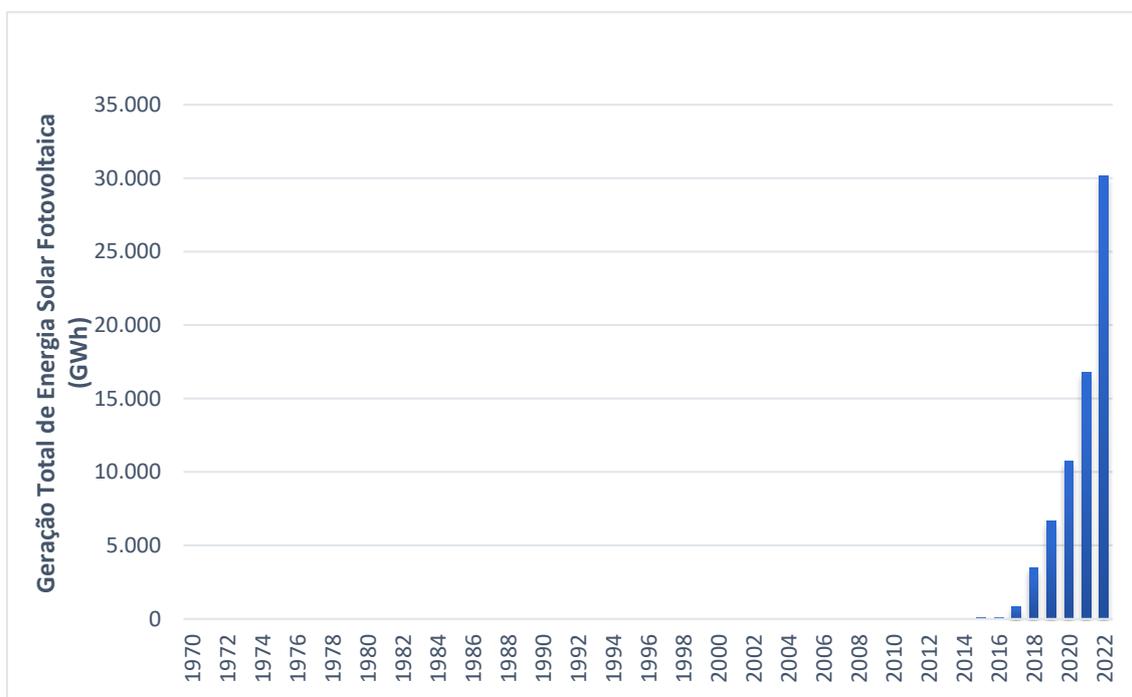


Fonte: CCEE, 2023.

Por meio dos dados do Painel de Geração da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, mês de referência Junho de 2023, o Brasil conta com 5% da capacidade de energia

instalada proveniente da energia solar fotovoltaica, em relação as fontes Térmicas, Hidráulicas e Eólica.

Gráfico 3: Geração de Energia Solar Fotovoltaica entre 1970 e 2022.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o gráfico elaborado acima, através dos dados fornecidos pela Empresa de Pesquisa Energética, tem-se a evolução da geração total de energia solar fotovoltaica, ao longo dos anos, de 1970 até 2022, que atingiu 30.126,5 GWh. Os sistemas fotovoltaicos de energia solar operam sem gerar resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, e sua operação é silenciosa e sem o uso de fontes não renováveis. No entanto, a produção fotovoltaica tem impactos ambientais, com ênfase na emissão de poluentes ao longo do ciclo de vida dos módulos e na reciclagem dos materiais.

O ciclo de vida abrange a eliminação da matéria-prima, produção, uso e destinação final. A análise do ciclo revela emissões de gases de efeito estufa na produção, embora nenhuma eliminação seja gerada na fase de uso. A reciclagem pós-uso é viável para vidro, acetato e alguns metais. Os impactos sociais também devem ser considerados, incluindo a resistência devido ao impacto estético e a possível integração de sistemas renováveis nas comunidades (Tolmasquim, 2016).

Embora seja renovável, sob o olhar de impactos sociais, essa fonte de energia enfrenta resistência, especialmente pela estética das usinas solares que requerem vastas áreas.

Contudo, isso pode ser mitigado ao escolher locais remotos e densamente povoados, mais apropriados. Preocupe-se com a integração estética em prédios históricos e o ruído da instalação, mas ambos podem ser controlados. Para superar a resistência das comunidades à adoção de sistemas de geração renovável, é fundamental sua inclusão no planejamento e conhecimento dessas opções. Uma característica notável dos sistemas fotovoltaicos é sua habilidade de suprir necessidades energéticas em comunidades isoladas e não ligadas à rede nacional de distribuição. Nessas áreas, devido à localização geográfica, a possibilidade de explorar outras fontes, como hidrelétricas ou eólicas, pode ser limitada. Essa tecnologia tem o potencial de elevar a qualidade de vida desses grupos, promovendo oportunidades econômicas, melhores condições de trabalho e ampliando o acesso à informação (Tolmasquim, 2016).

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho, fez-se uma revisão bibliográfica a respeito de fontes renováveis no Brasil, a fim de caracterizar, analisar dados e demonstrar o potencial de alguns tipos de fontes energia, sendo elas, as fontes de energia hídrica, biomassa, geotérmica, oceânica, eólica e solar fotovoltaica, todas consideradas renováveis. Na descrição e análise realizada sobre as fontes renováveis, é evidente perceber que essas fontes se tornaram instrumentos importantes para o combate a emissões de poluentes na natureza, pois são naturais e com muita oferta de recursos. E no que tange, a concentração destes recursos, viu-se que os hídricos, eólicos e solares possuem uma grande oferta distribuída no Brasil, país que possui muito potencial energético natural e uma matriz energética com diversidade de fontes.

Nesta monografia, foi abordado tecnologias relacionadas à geração de eletricidade a partir de fontes geotérmicas, oceânicas e biomassa, e a composição de seus sistemas, mas tais fontes não foram muito aprofundadas pois possuem ainda baixa participação no Brasil. Em contrapartida, foi realizado uma abordagem mais ampla sobre usinas hidrelétricas, eólicas e solares. Estas tecnologias de aproveitamento energético já possuem mais relevância no país, como por exemplo a grande maturidade e predominância das usinas hidrelétricas na matriz energética brasileira, sendo estas cruciais, pois possuem flexibilidade operativa, capacidade de armazenamento e provocam uma maior penetração das fontes eólica e solar fotovoltaica, induzindo mais segurança energética no país. Tem-se os reservatórios

hidrelétricos como única tecnologia economicamente competitiva capaz de armazenar grandes quantidades de energia, essencial para maximizar a demanda de energia

Sobre as usinas eólicas e solar fotovoltaicas, constatou-se o grande potencial do Brasil em relação aos outros países. Contudo, mesmo com grande capacidade de recursos naturais (ventos e radiação solar), é evidente a necessidade de desenvolver sua logística e rede de ofertas de insumos, otimização de toda a cadeia elétrica, desde a geração até o uso final. Estas usinas devem ter uma maior ênfase no planejamento energético brasileiro, pois apresentam grandes capacidades no país e com elas vários benefícios para o sistema elétrico, desde o desenvolvimento social e econômico, de maneira sustentável, até a maior propagação de acesso à energia elétrica sustentável, integralizada e harmoniosa.

Desta forma, é notória a necessidade do desenvolvimento cada vez mais urgente deste tema de produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis e naturais, e a importância da diversificação das fontes de para a maior complementariedade e segurança energética no sistema elétrico. Para que, por fim, o desenvolvimento seja acelerado e sustentável, pois a partir do momento que há a evolução da capacidade de produção de energia limpa e segura, maior será o desenvolvimento social e econômico do país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética [Epe]. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Energia 2050. Brasília: Mme/Epe, 2020. 243 p.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética [Epe]. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Energia 2030. Rio de Janeiro: Mme/Epe, 2007. 408 p.

CAMPOS, Adriana Fiorotti et al. Um panorama sobre a energia geotérmica no Brasil e no Mundo: aspectos ambientais e econômicos. *Espacios*, Caracas, v. 01, n. 38, p. 8-25, 2017.

[CRESESB], CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. *Energia Eólica: princípios e tecnologias*. Brasil: Cepel, 2008. 51 p.

[CRESESB], Centro de Referência Para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica**. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321. Acesso em: 10 ago. 2023.

[CCEE], Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Geração de energia renovável bateu recorde em 2022, aponta CCEE**. 2023. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/-/geracao-de-energia-renovavel-bateu-recorde-em-2022-aponta-ccee>. Acesso em: 17 ago. 2023.

EDENHOFER, Ottmar et al. (Ed.). *Renewable energy sources and climate change mitigation: Special report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press, 2011.

ENERGIA, Ministério de Minas e. **Balço Energético Nacional**. Brasília: Epe, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-687/BEN2023.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2023.

ENERGIA, Ministério de Minas e. **Relatório Síntese 2022**. Brasília: Epe, 2022. 67 p. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf. Acesso em: 03 ago. 2023.

[EPE], Empresa de Pesquisa Energética. **Séries Históricas e Matrizes Energéticas**. 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas>. Acesso em: 12 ago. 2023.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 1996. 176 p.

[IRENA], International Renewable Energy Agency. **Country Rankings**. 2023. Disponível em: <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings>. Acesso em: 15 ago. 2023.

KEMERICH, Pedro Daniel da Cunha *et al.* Paradigmas da energia solar no Brasil e no mundo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria,

v. 20, n. 1, p. 241-247, abr. 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/16132/pdf>. Acesso em: 23 jul. 2023.

LEMOS, Paulo (org.). **A História da Energia no Brasil**. Ouro Preto: Livraria & Editora Ouro Preto, 2016. 159 p.

SANTOS, Rodrigo Miguel dos; RODRIGUES, Marilsa de Sá; CARNIELLO, Monica Franchi. ENERGIA E SUSTENTABILIDADE: panorama da matriz energética brasileira. **Revista Scientia**, Salvador, v. 6, n. 1, p. 13-33, abr. 2021. Disponível em: <https://homologacao.revistas.uneb.br/index.php/scientia/article/view/9396/7456>. Acesso em: 24 ago. 2023.

SIMAS, Moana Silva. Energia Eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil: estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada. 2012. 219 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

TAVARES, Wagner Marques (Coord.). Energias renováveis: riqueza sustentável ao alcance da sociedade. Relator Pedro Uczai. Equipe técnica Alberto Pinheiro de Queiroz Filho. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2012. 275 p., il. color. (Série cadernos de altos estudos, 10).

TOLMASQUIM, Mauricio Tiommo (org.). Energia Renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica. Rio de Janeiro: Epe, 2016. 452 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

FOLHA DE APROVAÇÃO

Samuel Márcio Gomes Felipe

Análise de fontes de energia renováveis no Brasil

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Civil

Aprovada com nota 9,5 (nove vírgula cinco) em 31 de agosto de 2023

Membros da banca

Prof. Paulo Marcos de Barros Monteiro - Orientador - (DECAT - Universidade Federal de Ouro Preto)

Prof. Luiz Fernando Rispoli Alves – Examinador (DECAT - Universidade Federal de Ouro Preto)

Prof. Fernando Antônio Borges Campos - Examinador (DECIV - Universidade Federal de Ouro Preto).

Paulo Marcos de Barros Monteiro
orientador